

Grondwaterreiniging

Vroeger werden in chemische wasserijen vooral chloorkoolwaterstoffen (CKW's) gebruikt om kleding te reinigen. CKW's zijn verbindingen van chloor, koolstof en meestal ook waterstof. Een voorbeeld van een CKW is de stof die wordt aangeduid met de naam tri.

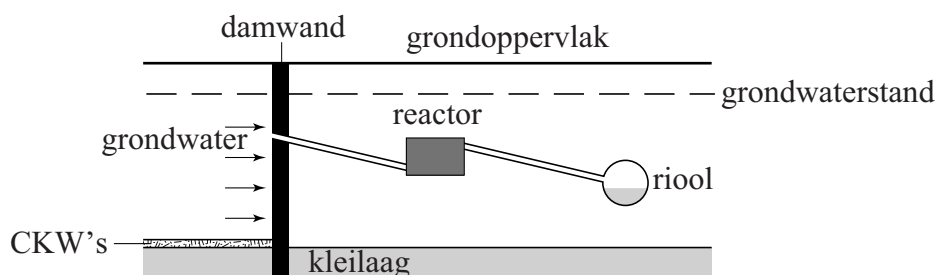
De molecuulformule van tri is C_2HCl_3 .

- 2p 16 Geef de structuurformule van tri.

In het centrum van Amersfoort, op de plaats waar enkele chemische wasserijen stonden, zijn grond en grondwater verontreinigd met CKW's. Op ongeveer 12 meter diepte bevindt zich op deze plaats een ondoordringbare kleilaag. Op deze kleilaag heeft zich een mengsel van vloeibare CKW's verzameld die in de grond waren gesijpeld. CKW's lossen niet goed op in water. Toch is het grondwater, dat over het mengsel van CKW's stroomt, verontreinigd met CKW's. Als gevolg van verdelingsevenwichten komen namelijk CKW's in het water terecht.

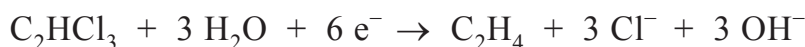
- 2p 17 Geef de vergelijking van het verdelingsevenwicht van het tri dat is opgelost in het CKW-mengsel en het tri dat is opgelost in het water. Vermeld ook de toestandsaanduidingen en gebruik voor tri in het CKW-mengsel de toestandsaanduiding (ckw).

Er is een methode ontwikkeld om de CKW's uit het vervuilde grondwater te verwijderen. Dit gaat als volgt. Een damwand wordt in de bodem geplaatst tot in de ondoordringbare kleilaag. In deze wand zit een opening waardoor het vervuilde grondwater via een afvoerleiding naar een reactor wordt geleid. In de reactor die gevuld is met ijzerkorrels, vindt de reiniging van het vervuilde grondwater plaats. Het gezuiverde water wordt geloosd op het riool. Deze zuivering is schematisch weergegeven in onderstaande figuur.



De CKW's reageren in de reactor met het ijzer volgens redoxreacties. Hierbij ontstaan onder andere koolwaterstoffen en wordt ijzer omgezet tot ijzer(II)ionen.

Bij de reactie van C_2HCl_3 (tri) met ijzer kan de halfreactie van de oxidator als volgt worden weergegeven:



- 1p 18 Geef de vergelijking van de halfreactie van de reductor.
 1p 19 In welke molverhouding reageren tri en ijzer?
 Noteer je antwoord als: aantal mol tri : aantal mol ijzer = ... : ...

In het vervuilde grondwater zijn drie CKW's aanwezig die worden aangeduid met de namen tri, per en cis. Van deze CKW's zijn in tabel 1 enkele gegevens opgenomen ($1 \mu g = 1 \cdot 10^{-6} g$).

tabel 1

CKW	molecuulformule	gehalte in het vervuilde grondwater ($\mu g L^{-1}$)
tri	C_2HCl_3	2072
per	C_2Cl_4	2257
cis	$C_2H_2Cl_2$	928

Het grondwater stroomt met een snelheid van $20 m^3$ per dag door de reactor.

- 2p 20 Bereken het aantal gram CKW's dat per dag omgezet wordt in de reactor. Ga ervan uit dat de CKW's volledig worden omgezet.

Voor het ontwerp van de reactor is in een proefopzet van het reinigingsproces onder andere het volgende onderzocht:
 onderzoek 1: Welk soort ijzerkorrels is geschikt?
 onderzoek 2: Hoe groot moet de reactor zijn?

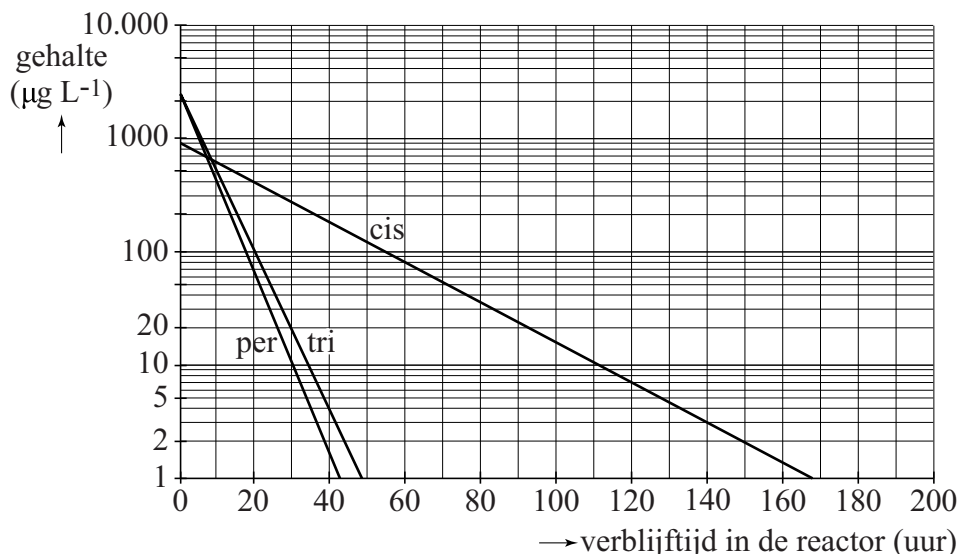
Bij onderzoek 1 onderzocht men twee soorten ijzerkorrels, afkomstig van verschillende leveranciers.

De twee soorten ijzerkorrels worden verder aangeduid met A en B. Men vulde een kolom met A en een andere kolom met dezelfde massa van B. Door beide kolommen leidde men met gelijke stroomsnelheid het verontreinigde grondwater. Het grondwater dat uit de kolom met A kwam, bevatte geen CKW's meer. Uit de kolom met B kwam grondwater dat nog wel CKW's bevatte.

- 2p 21 Noem een mogelijk verschil tussen de ijzerkorrels A en de ijzerkorrels B waarmee het waargenomen verschil bij de grondwaterreiniging kan worden verklaard. Geef ook deze verklaring.

Bij onderzoek 2 gebruikte men een modelopstelling met het soort ijzerkorrels dat ook in de reactor zal worden toegepast. Bij dit onderzoek bepaalde men regelmatig de gehalten van de verschillende CKW's in het grondwater. De resultaten werden omgerekend naar de praktijk van de grondwaterreiniging. Deze (omgerekende) resultaten zijn weergegeven in diagram 1.

diagram 1



In dit diagram zijn de gehalten van de drie onderzochte CKW's uitgezet tegen de tijd die het grondwater in de reactor verblijft. Met behulp van diagram 1 kan de inhoud van de reactor worden berekend.

Let op: voor de gehalten op de y-as is geen lineaire schaal gebruikt maar een zogenoemde logaritmische schaal.

Het totale gehalte aan CKW's in grondwater, dat op het riool wordt geloosd, mag maximaal $20 \mu\text{g}$ per liter zijn ($1 \mu\text{g} = 1 \cdot 10^{-6} \text{g}$).

- 1p **22** Geef aan hoe uit diagram 1 blijkt dat cis langzamer met ijzer reageert dan tri en per.
- 2p **23** Bereken hoeveel m^3 de inhoud van de reactor minstens moet zijn. Ga er bij de berekening vanuit dat:
- het grondwater met een snelheid van $0,83 \text{ m}^3$ per uur (= 20 m^3 per dag) door de reactor stroomt;
 - het gehalte aan cis wordt verlaagd tot $20 \mu\text{g L}^{-1}$.